

⑤

Int. Cl. 2:

F 23 D 19/00

⑯ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

C 22 B 1/10

DEUTSCHES PATENTAMT



DT 26 24 302 A 1

⑪

Offenlegungsschrift 26 24 302

⑰

Aktenzeichen: P 26 24 302.7

⑱

Anmeldetag: 31. 5. 76

⑲

Offenlegungstag: 22. 12. 77

⑳

Unionspriorität:

③② ③③ ③① —

⑤④

Bezeichnung: Verfahren zur Durchführung exothermer Prozesse

⑦①

Anmelder: Metallgesellschaft AG, 6000 Frankfurt

⑦②

Erfinder: Reh, Lothar, Dipl.-Ing. Dr., 6000 Bergen; Hirsch, Martin, Dipl.-Ing., 6000 Frankfurt; Plass, Rudolf, Dipl.-Ing. Dr., 6242 Kronberg

⑤⑥

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DT-PS 4 46 678

DT-AS 11 59 120

BE 5 57 863

BE 5 51 154

GB 3 21 422

US 39 14 089

US 38 97 546

US 33 02 598

DT 26 24 302 A 1

- ① Verfahren zur Durchführung exothermer Prozesse mit nahstöchio-
metrischer Verbrennung der brennbaren Bestandteile der aufgege-
benen Materialien in der Wirbelschicht, mit Rückführung von ausge-
tragenen Feststoffen in die Wirbelschicht und Abführung von Ver-
brennungswärme, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß man
- a) die Verbrennung mit in zwei Teilströmen, in unterschiedlicher
Höhe zugeführten sauerstoffhaltigen Gasen, von denen mindestens
einer als Sekundärgas in eine oder mehrere übereinanderliegen-
de Ebenen eingetragen wird, durchführt,
 - b) das Volumenverhältnis von Fluidisierungsgas und Sekundärgas
auf einen Wert im Bereich von 1 : 20 bis 2 : 1 einstellt,
 - c) oberhalb der Sekundärgaszuführung durch Einstellung der Gas-
geschwindigkeit und des Verhältnisses von Fluidisierungsgas
und Sekundärgas einen Wirbelschichtzustand mit einer mittleren
Suspensionsdichte von 10 bis 40 kg/m³ schafft,
 - d) den überwiegenden Teil des aufzugebenden Materials in den un-
terhalb der Sekundärgaszuführung befindlichen, von Einbauten
praktisch frei gehaltenen Raum einträgt,
 - e) Feststoffe dem aus Wirbelschichtreaktor, Abscheider und Rück-
führleitung gebildeten Zirkulationssystem entnimmt,
 - f) die Feststoffe in einem Wirbelschichtkühler durch direkten und
indirekten Wärmeaustausch, vorzugsweise unter Erzeugung
von Dampf, kühlt,
 - g) mindestens einen Teilstrom gekühlten Feststoffes in den Wir-
belschichtreaktor zur Einstellung einer konstanten Temperatur
zurückführt und

- h) das aus dem Wirbelschichtkühler austretende heiße Wirbelgas in den Wirbelschichtreaktor als Sekundärgas einträgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man das den Wirbelschichtreaktor verlassende Abgas durch Eintrag gekühlten Feststoffes kühlt.
 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß man gekühlten Feststoff als einen Teilstrom direkt und als einen weiteren indirekt nach Kühlung der Abgase in den Wirbelschichtreaktor einträgt.
 4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß man einen Teilstrom der zuzuführenden sauerstoffhaltigen Gase dem Wirbelschichtreaktor als Fluidisierungsgas zuführt.
 5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß man die oberste Sekundärgaszuführung in einer Höhe bis 30%, bezogen auf die Gesamthöhe des Wirbelschichtreaktors, mindestens jedoch 1 m über der Einführung des Fluidisierungsgases vornimmt.
 6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man den Feststoff in einem Wirbelschichtkühler mit mehreren nacheinander durchflossenen Kühlkammern, in die miteinander verbundene Kühlregister eintauchen, im Gegenstrom zum Kühlmittel kühlt.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß man die Verbrennung bei
Verbrennung kohlenstoffhaltiger Materialien in Gegenwart eines
feinkörnigen Entschwefelungsmittels durchführt.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß man die Verbrennung mit
mit Sauerstoff angereicherter Luft durchführt.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, da -
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß man die Verbrennung un-
ter Druck, vorzugsweise bis 20 atü, durchführt.

Prov. -Nr. 7920 LC

Verfahren zur Durchführung exothermer Prozesse

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Durchführung exothermer Prozesse mit nahstöchiometrischer Verbrennung der brennbaren Bestandteile der aufgegebenen Materialien in der Wirbelschicht mit Rückführung von ausgetragenen Feststoffen in die Wirbelschicht und Abführung von Verbrennungswärme.

Bei der Durchführung exothermer Prozesse, wie zur Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Materialien oder Röstung sulfidischer Erze, sind neben zahlreichen anderen Aggregaten auch Wirbelschichtreaktoren mit der eingangs genannten Verfahrensweise eingesetzt worden (vgl. GB-PS 784 595 und J.R. GRACE "Fluidization and its Application to Coal Treatment and Allied Processes", AIChE Symposium Series 141, Vol. 70 (1974) S. 21 - 26; D.L. KEAIRNS et al. "Design of a Fluidized Bed Combustion Boiler for Industrial Steam Generation", AIChE Symposium Series 126, Vol. 68 (1972) S. 259 - 266; AU-PS 164 429).

Soweit die bekannten Verfahren die Verbrennung von kohlenstoffhaltigem Material betreffen, ist nachteilig, daß mit vergleichsweise geringer Betthöhe gearbeitet werden muß, um den Druckverlust in vertretbaren Grenzen zu halten, daß infolge des Vorhandenseins von Kühlflächen

709851/0026

im unteren Reaktorraum die Quervermischung des Feststoffes im Wirbelbett gestört ist, so daß Temperaturinhomogenitäten (Überhitzung, Verkrustungen) auftreten, und daß eine Anpassung in der Betriebsweise des Reaktors an den bestehenden und durchaus schwankenden Leistungsbedarf nur sehr unvollkommen möglich ist. Die Anpassung ist praktisch nur über eine Temperaturerniedrigung, die jedoch mit verschlechterten Verbrennungs- und Fluidisierungsbedingungen verbunden ist, oder über die Abschaltung einzelner Reaktoreinheiten durchführbar.

Es sind auch Vorrichtungen bekannt, bei denen die Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur in der Wirbelschicht dadurch herbeigeführt wird, daß man in einer zweiten Wirbelschicht eine Erhitzung oder Kühlung des Wirbelgutes vornimmt und dieses über geeignete Schleusen und Überlaufvorrichtungen zur Temperatursteuerung in die erste Wirbelschicht zurückführt (US-PS 3 921 590). Beispielsweise kann in der ersten Wirbelschicht ein Verbrennungsprozeß durchgeführt und von dort Wirbelgut in die zweite Wirbelschicht zur Kühlung und Rückführung in die erste Schicht eingeleitet werden. Nachteilig bei der Anwendung der bekannten Vorrichtung ist, daß der Druckverlust der dem Verbrennungsprozeß dienenden Wirbelschicht infolge des herrschenden Wirbelschichtzustandes beträchtlich hoch ist. Es müssen demzufolge auch die Fluidisierungsgase mit hohem Energieaufwand auf hinreichend hohen Druck verdichtet werden. Darüber hinaus sind die bei der Rückkühlung des Wirbelgutes verwendeten Fluidisierungsgase nicht in verfahrensmäßig ökonomischer Weise eingesetzt, sondern vergrößern lediglich die im Verbrennungsprozeß anfallende Abgasmenge.

Bei der bekannten Wirbelschichttröstung sulfidischer Erze gemäß AU-PS 164 429 ist insbesondere die Entstehung von Temperaturinhomogenitäten durch die spontane Verbrennung des Schwefels in Gegenwart

709851/0026

der gesamten erforderlichen Sauerstoffmenge nicht zu vermeiden.
Als Folge hiervon entstehen Abbrände, die hinsichtlich ihrer metallurgischen Eigenschaften nachteilige Eigenschaften haben.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren bereitzustellen, das die bekannten, insbesondere die vorgenannten Nachteile vermeidet, eine Anpassung an den bestehenden Leistungsbedarf ermöglicht und dennoch ohne erhöhten apparativen und verfahrensmäßigen Aufwand durchführbar ist.

Die Aufgabe wird gelöst, indem das Verfahren der eingangs genannten Art entsprechend der Erfindung derart ausgestaltet wird, daß man

- a) die Verbrennung mit in zwei Teilströmen, in unterschiedlicher Höhe zugeführten sauerstoffhaltigen Gasen, von denen mindestens einer als Sekundärgas in eine oder mehrere übereinander liegende Ebenen eingetragen wird, durchführt,
- b) das Volumenverhältnis von Fluidisierungsgas und Sekundärgas auf einen Wert im Bereich von 1 : 20 bis 2 : 1 einstellt,
- c) oberhalb der Sekundärgaszuführung durch Einstellung der Gasgeschwindigkeit und des Verhältnisses von Fluidisierungsgas und Sekundärgas einen Wirbelschichtzustand mit einer mittleren Suspensionsdichte von 10 bis 40 kg/m³ schafft,
- d) den überwiegenden Teil des aufzugebenden Materials in den unterhalb der Sekundärgaszuführung befindlichen, von Einbauten praktisch frei gehaltenen Raum einträgt,
- e) Feststoffe dem aus Wirbelschichtreaktor, Abscheider und Rückführleitung gebildeten Zirkulationssystem entnimmt,
- f) die Feststoffe in einem Wirbelschichtkühler durch direkten und indirekten Wärmeaustausch, vorzugsweise unter Erzeugung von Dampf, kühlt,

- g) mindestens ein Teilstrom gekühlten Feststoffes in den Wirbelschichtreaktor zur Einstellung einer konstanten Temperatur zurückführt und
- h) das aus dem Wirbelschichtkühler austretende heiße Wirbelgas in den Wirbelschichtreaktor als Sekundärgas einträgt.

Das bei der Erfindung angewendete Wirbelschichtprinzip zeichnet sich dadurch aus, daß - im Unterschied zur "klassischen" Wirbelschicht, bei der eine dichte Phase durch einen deutlichen Dichtesprung von dem darüber befindlichen Gasraum getrennt ist - Verteilungszustände ohne definierte Grenzschicht vorliegen. Ein Dichtesprung zwischen dichter Phase und darüber befindlichem Staubraum ist nicht existent; jedoch nimmt innerhalb des Reaktors die Feststoffkonzentration von unten nach oben ständig ab.

Bei der Definition der Betriebsbedingungen über die Kennzahlen von Froude und Archimedes ergeben sich die Bereiche:

$$0,1 \leq \frac{3}{4} \cdot \frac{u^2}{g \cdot d_k} \cdot \frac{\rho_g}{\rho_k - \rho_g} \leq 10,$$

bzw.

$$0,01 \leq Ar \leq 100,$$

wobei

$$Ar = \frac{d_k^3 \cdot g(\rho_k - \rho_g)}{\rho_g \cdot \nu^2}$$

ist.

Es bedeuten:

u	die relative Gasgeschwindigkeit in m/sec.
Ar	die Archimedeszahl
ρ_g	die Dichte des Gases in kg/m ³
ρ_k	die Dichte des Feststoffteilchens in kg/m ³
d_k	den Durchmesser des kugelförmigen Teilchens in m
ν	die kinematische Zähigkeit in m ² /sec.
g	die Gravitationskonstante in m/sec. ²

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, daß der Verbrennungsprozeß mit hohen Durchsätzen bei sehr konstanter Temperatur durchgeführt werden kann. Dies ist bei Verbrennungsprozessen von kohlenstoffhaltigen Materialien im Hinblick auf die NO_x-Bildung aber auch auf das Verhalten der Asche, bei Ölschiefer beispielsweise auf deren Laugbarkeit oder deren hydraulisches Verhalten, bei Röstprozessen wegen des metallurgischen Ergebnisses von erheblicher Bedeutung.

Dabei läßt sich die Temperaturkonstanz praktisch ohne Änderung der im Wirbelschichtreaktor herrschenden Betriebszustände, also etwa ohne Veränderung der Suspensionsdichte u.a., allein durch geregelte Rückführung des gekühlten Feststoffes erreichen. Je nach Verbrennungsleistung und eingestellter Verbrennungstemperatur ist die Rezirkulationsrate mehr oder minder hoch. Die Verbrennungstemperaturen lassen sich beim erfindungsgemäßen Verfahren von sehr niedrigen Temperaturen, die nahe oberhalb der Zündgrenze liegen, bis zu sehr hohen Temperaturen, die durch Erweichung der Verbrennungsrückstände oder - bei Einsatz inerten Wirbelgutes - dieses Wirbelgutes begrenzt sind, beliebig

einstellen. In der Praxis liegt der Temperaturbereich etwa zwischen 450 °C und 1200 °C.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß selbst bei tieferen Verbrennungstemperaturen, die aus mancherlei Gründen zweckmäßig sind, die Einhaltung einer hohen Temperaturkonstanz und eine nahstöchiometrische Verbrennung, die üblicherweise mit hohen Verbrennungstemperaturen verbunden ist, möglich sind.

Da die Entnahme der bei der Verbrennung des brennbaren Bestandteiles gebildeten Wärme überwiegend im feststoffseitig nachgeschalteten Wirbelschichtkühler erfolgt, ist ein Wärmeübergang auf im Wirbelschichtreaktor befindliche Kühlregister, der eine hinreichend hohe Suspensionsdichte zur Voraussetzung hat, von untergeordneter Bedeutung. Somit ergibt sich als weiterer Vorteil des Verfahrens, daß die Suspensionsdichte im Bereich des Wirbelschichtreaktors oberhalb der Sekundärgaszuführung niedrig gehalten werden kann, so daß der Druckverlust im gesamten Wirbelschichtreaktor vergleichsweise gering ist.

Statt dessen erfolgt der Wärmeentzug im Wirbelschichtkühler unter Bedingungen, die einen extrem hohen Wärmeübergang, etwa im Bereich von 400 bis 500 Watt/m² · °C, bewirken. Dies gelingt, weil der Wirbelschichtkühler unter für die Kühlung des Feststoffes optimalen Bedingungen, insbesondere hoher Schüttdichte, betrieben werden kann. Nachteilige Einflüsse durch Nachverbrennung, Überhitzung, Korrosion und anderem, die bei sonst üblicher Kühlung im Verbrennungsreaktor berücksichtigt werden müssen, sind beim erfindungsgemäßen Verfahren ausgeschaltet. Zwar sind zum Betrieb des Wirbelschichtkühlers mit der dort herrschenden Suspensionsdichte (hoher Druckverlust) unter höherem Druck stehende Fluidisierungsgase erforderlich. Im Hinblick darauf, daß die dem Wirbelschichtreaktor und dem

Wirbelschichtkühler jeweils als Fluidisierungsgas zuzuführenden Gas-
mengen auf ein Verhältnis von etwa 4 : 1 bis 1 : 1, vorzugsweise
auf 2,5 : 1, eingestellt werden können, macht der Gasbedarf mit hö-
herem Druck einen nur relativ geringen Anteil von im Mittel etwa 30%
oder auch weniger aus, weniger dann, wenn dem Wirbelschichtreaktor
Sekundärgas zugeführt wird, das nicht aus dem Wirbelschichtkühler
stammt. Etwa 70% oder entsprechend mehr der zur Verbrennung er-
forderlichen sauerstoffhaltigen Gase können mit weit geringerer Tem-
peratur in den einen geringen Druckverlust aufweisenden Wirbelschicht-
reaktor eingetragen werden als sonst üblich ist.

Die im Wirbelschichtkühler einzusetzenden Kühlmittel können belie-
big sein. Es können generell flüssige Wärmeträger verwendet wer-
den. Vorzugsweise erfolgt die Kühlung mit Wasser unter Erzeugung
von Dampf.

Die Verbrennungstemperatur im Wirbelschichtreaktor wird geregelt, indem mindestens ein Teilstrom gekühlten Feststoffes aus dem Wirbelschichtkühler zurückgeführt wird. Beispielsweise kann der erforderliche Teilstrom gekühlten Feststoffes direkt in den Wirbelschichtreaktor eingetragen werden.

Das den Wirbelschichtreaktor verlassende Abgas kann auf an sich bekannte Weise mittels eines Abhitzekessels gekühlt werden. Besonders vorteilhaft ist es jedoch, das Abgas durch Eintrag gekühlten Feststoffes, der beispielsweise einer pneumatischen Förderstrecke oder einer Schwebeaustauscherstufe aufgegeben wird, zu kühlen. Der vom Abgas später wieder abgetrennte Feststoff kann dann in den Wirbelschichtkühler zurückgeleitet werden. Dadurch gelangt auch die Abgaswärme letztlich in den Wirbelschichtkühler.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, gekühlten Feststoff als einen Teilstrom direkt und als einen weiteren indirekt nach Kühlung der Abgase in den Wirbelschichtreaktor einzutragen. Aus dem Wirbelschichtreaktor werden die Feststoffe mit Verbrennungstemperatur wieder dem Wirbelschichtkühler zugeleitet.

Die Aufteilung der insgesamt zur Verbrennung der brennbaren Bestandteile des aufgegebenen Materials erforderlichen sauerstoffhaltigen Gase auf zwei in unterschiedlicher Höhe zugeführte Teilströme bewirkt, daß die Verbrennung in zwei Stufen erfolgt. Hierdurch wird eine "weiche" Verbrennung, d.h. eine solche ohne lokale Überhitzungserscheinungen, erhalten, die neben einer Vermeidung der Krustenbildung auch die Entstehung von Stickoxiden auf Werte unter 100 ppm zurückdrängt.

Infolge der weitgehenden Freiheit von Einbauten im unteren, unter der Sekundärgaszuführung liegenden Reaktorraum wird augenblicklich eine gute Verteilung des eingetragenen Materials erzielt. Die schnelle Durchmischung mit dem heißen Bettmaterial gewährleistet zudem eine gute Zündung. Der vorgesehene Einsatz in feinkörniger Form, etwa mit einem mittleren Korndurchmesser von 30 bis 250 μ und damit großer Oberfläche ermöglicht kurze Reaktionszeiten.

Der der Verbrennung dienende Wirbelschichtreaktor kann von rechteckigem, quadratischem oder kreisförmigem Querschnitt sein. Der untere Bereich des Wirbelschichtreaktors kann auch konisch ausgebildet sein, was insbesondere bei großen Reaktorquerschnitten und bei Verwendung von Inertgas als Fluidisierungsgas vorteilhaft ist.

Die im Wirbelschichtreaktor oberhalb der Sekundärgaszuführung herrschenden Gasgeschwindigkeiten liegen bei Normaldruck, im Regelfall über 5 m/sec. und können bis zu 15 m/sec. betragen.

Das Verhältnis von Durchmesser zu Höhe des Wirbelschichtreaktors sollte derart gewählt werden, daß Gasverweilzeiten von 0,5 bis 8,0 sec., vorzugsweise 1 bis 4 sec., erhalten werden.

Als Fluidisierungsgas kann praktisch jedes beliebige, die Beschaffenheit des Abgases nicht beeinträchtigende Gas eingesetzt werden. Es sind z.B. Inertgase, wie rückgeführtes Rauchgas (Abgas), Stickstoff und Wasserdampf, geeignet. Im Hinblick auf die Intensivierung des Verbrennungsprozesses ist es jedoch vorteilhaft, wenn ein Teilstrom der zuzuführenden sauerstoffhaltigen Gase dem Wirbelschichtreaktor als Fluidisierungsgas zugeleitet wird.

Es ergeben sich mithin für die Durchführung des Verfahrens die Möglichkeiten:

1. Als Fluidisierungsgas Inertgas zu verwenden. Dann ist es unerlässlich, das sauerstoffhaltige Verbrennungsgas als Sekundärgas in mindestens zwei übereinanderliegenden Ebenen einzutragen
2. Als Fluidisierungsgas bereits sauerstoffhaltiges Gas zu verwenden. Dann genügt der Eintrag von Sekundärgas in einer Ebene. Selbstverständlich kann auch bei dieser Ausführungsform noch eine Aufteilung des Sekundärgaseintrags in mehrere Ebenen erfolgen.

Innerhalb jeder Eintragungsebene sind mehrere Zuführungsöffnungen für Sekundärgas vorteilhaft.

In bevorzugter Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das Sekundärgas in einer Höhe bis 30%, bezogen auf die Gesamthöhe des Wirbelschichtreaktors, mindestens jedoch 1 m über der Einleitung des Fluidisierungsgases, zugeführt. Bei dieser Angabe ist - sofern das Sekundärgas in mehreren Ebenen zugeführt wird - auf die Höhenlage der obersten Sekundärgasleitung abgestellt. Diese Höhe schafft einerseits einen hinreichend großen Raum für die erste Verbrennungsstufe mit nahezu vollständiger Umsetzung zwischen brennbaren Bestandteilen und sauerstoffhaltigem Gas - sei es als Fluidisierungsgas oder Sekundärgas in einer tiefer liegenden Ebene zugeführt - und gibt andererseits die Möglichkeit, im oberen, über der Sekundärgaszuführung liegenden Reaktionsraum eine ausreichend große Ausbrandzone zu schaffen.

Im allgemeinen wird es zweckmäßig sein, die Wandung des Wirbelschichtreaktors mit Kühlflächen zu versehen. Kühlflächen im freien Reaktorraum sind ebenfalls möglich, jedoch von untergeordneter Bedeutung und können gegebenenfalls, z. B. bei niedrigen Heizwerten der Brennstoffe, ganz entfallen. Sofern Kühlflächen vorgesehen sind, sollten sie aus

im Zwangsdurchlauf gekühlten Rohrwänden mit lichtem Rohrabstand von 150 mm, vorzugsweise 250 bis 500 mm, bestehen. Der Verlauf der Rohrachsen sollte dabei parallel zur Strömungsrichtung der Gas/Feststoff-Suspension sein, wodurch ein Minimum an Erosion entsteht.

Besonders vorteilhaft ist es, den Feststoffaustrag des Wirbelschichtreaktors in einem Wirbelschichtkühler mit mehreren nacheinander durchflossenen Kühlkammern, in die miteinander verbundene Kühlregister eintauchen, im Gegenstrom zum Kühlmittel zu kühlen. Hierdurch gelingt es, die Verbrennungswärme an eine vergleichsweise kleine Kühlmittelmenge zu binden und überhitzten, wirtschaftlich einsetzbaren Wasserdampf zu erzeugen.

Um bei Verbrennung kohlenstoffhaltiger Materialien den Schwefelgehalt im Abgas gering zu halten, ist es vorteilhaft, den Verbrennungsprozeß in Gegenwart feinkörniger Entschwefelungsmittel, wie Kalk, Dolomit und dgl., ablaufen zu lassen. Die Entschwefelungsmittel, die etwa auch die Körnigkeit des festen kohlenstoffhaltigen Materials aufweisen sollten, werden in einfachster Weise zusammen mit diesem aufgegeben. Die Aufgabe der Entschwefelungsmittel kann jedoch auch - sofern eine Kühlung des Abgases mit rückgeköhltem Feststoff vorgesehen ist, zusammen mit diesem Feststoff aufgegeben werden. Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielte Temperaturkonstanz wirkt sich auch bei der Entschwefelung insofern positiv aus, als das Entschwefelungsmittel seine Aktivität und damit sein Aufnahmevermögen gegenüber Schwefel behält. Die hohe Feinkörnigkeit des Entschwefelungsmittels ergänzt diesen Vorteil, da das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen für die im wesentlichen durch die Diffusionsgeschwindigkeit bestimmte Bindungsgeschwindigkeit des Schwefels besonders günstig ist.

Leistungssteigerungen bei vorgegebenen Reaktorabmessungen lassen sich erzielen, wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung der Verbrennungsprozeß anstatt mit Luft mit mit Sauerstoff angereicherter Luft und/oder unter Druck, vorzugsweise bis 20 atü, durchgeführt wird.

Der Eintrag des Materials in den Wirbelschichtreaktor erfolgt auf übliche Weise, am zweckmäßigsten über eine oder mehrere Lanzen, z. B. durch pneumatisches Einblasen. Infolge der guten Quervermischung reicht eine vergleichsweise geringe Zahl an Eintragslanzen, bei kleineren Wirbelschichtreaktorabmessungen sogar eine einzige Lanze.

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere für die Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Materialien, d.h. Kohle aller Art, von Kohlewaschbergen, Räumaschen, Ölschiefer sowie Heizöl und Mischungen hiervon. Bei Verwendung von Heizöl als kohlenstoffhaltigem Material ist ein Hilfsbett, z. B. aus feinkörnigem Sand, Kalk oder Dolomit oder anderen mineralischen Stoffen, erforderlich. Weitere Anwendungsbereiche liegen in der Abröstung verschiedener sulfidischer Erze oder Erzkonzentrate.

Sofern die eingesetzten Materialien wesentliche Rückstandsmengen enthalten, wird nach Durchlaufen des Wirbelschichtkühlers die überschüssige Menge aus dem System Wirbelschichtreaktor/Wirbelschichtkühler ausgeschleust.

Die Erfindung wird anhand der Figuren und der Ausführungsbeispiele beispielsweise und näher erläutert.

Es veranschaulichen

Figur 1 ein Fließschema des Verfahrens mit Rückführung gekühlten Feststoffes allein in den Wirbelschichtreaktor,

Figur 2 und 3 je ein Fließschema des Verfahrens mit Rückführung gekühlten Feststoffes teils direkt, teils indirekt nach Kühlung der Abgase in den Wirbelschichtreaktor.

In Figur 1 bezeichnen 1 einen Wirbelschichtreaktor, 2 einen abgasseitig nachgeschalteten Abhitzekessel, 3 einen Elektrofilter, 4 einen Vorwärmer für sauerstoffhaltiges Gas und 5 einen Wirbelschichtkühler mit vier Kühlkammern.

Feststoff mit brennbaren Bestandteilen wird in den Wirbelschichtreaktor 1 über Lanze 6 pneumatisch eingetragen. Im Wirbelschichtreaktor 1 wird der Wirbelzustand durch Zugabe von Fluidisierungsgas über Leitung 7 und Sekundärgas über Leitung 8 herbeigeführt bzw. aufrechterhalten. Unter dem herrschenden Wirbelzustand verbrennen die mit dem zugeführten Material aufgegebenen brennbaren Bestandteile zweistufig ab. Der überwiegende Teil des ausgebrannten Feststoffes wird mit den Gasen aus dem Wirbelschichtreaktor 1 ausgetragen und in einem Zyklonabscheider 9 vom Gas getrennt. Das Abgas gelangt dann über den Abhitzekessel 2, in dem es auf eine für die nachfolgende Staubabscheidung geeignete Temperatur gekühlt wird, in den Elektrofilter 3 und schließlich über einen Vorwärmer 4 für sauerstoffhaltiges Gas in den Kamin (nicht dargestellt).

Das vorgewärmte Gas wird dem Wirbelschichtreaktor teils als Sekundärgas über Leitung 8, teils als Fluidisierungsgas über Leitung 7 und teils als Fördergas zum pneumatischen Eintrag des aufzugebenden Materials über Leitung 6 zugeleitet.

Der im Zyklonabscheider 9 anfallende Feststoff wird zur Aufrechterhaltung des Wirbelschichtzustandes dem Wirbelschichtreaktor 1 über Leitung 10 wieder zugeführt. Gleichzeitig wird dem Wirbelschichtreaktor 1 Feststoff über Leitung 11 entnommen und in den Wirbelschichtkühler 5 eingetragen. In ihm durchfließt der Feststoff nacheinander vier Kammern, die mit durchgehenden, in die einzelnen Kammern eintauchenden Kühlregistern 12 ausgestattet sind. Beim Durchlauf des Feststoffes wird seine fühlbare Wärme teils an das in die Kühlregister 12 eingeführte Speisewasser unter Bildung von Dampf teils an die Fluidisierungsgase, die über Leitung 13 zugeführt werden abgegeben. Der erzeugte Dampf wird einem geeigneten Verwendungszweck zugeführt.

Der abgekühlte Feststoff, der über ein Austragsorgan 14 dem Wirbelschichtkühler 5 entnommen wird, wird teilweise über Leitung 15 in den Wirbelschichtreaktor 1 zurückgeführt. Eine vorhandene Überschussproduktion, deren Menge bei konstanten Betriebsbedingungen dem unbrennbaren Rückstand des aufgegebenen Materials entspricht, wird über Leitung 16 abgeführt.

Das aus den vier Kammern des Wirbelschichtkühlers 5 austretende und unter dessen Haube gesammelte erhitzte Gas gelangt zusammen mit dem aus dem Vorwärmer 4 stammenden Teilgasstrom als Sekundärgas über Leitung 8 in den Wirbelschichtreaktor 1.

Wie in Figur 1 sind in Figur 2 1 ein Wirbelschichtreaktor, 3 ein Elektrofilter und 5 ein Wirbelschichtkühler mit vier Kühlkammern.

Der Eintrag von Feststoff, Fluidisierungsgas und Sekundärgas über Lanzen 6 und Leitungen 7 und 8 sowie Verbrennung, Austrag und Abscheidung ausgebrannten Feststoffs gestalten sich wie im Fließschema der Figur 1. Auch wird der über Leitung 11 entnommene Feststoff wie zuvor unter Erzeugung von Dampf und erhitztem Sekundärgas gekühlt und anschließend durch das Austragsorgan 14 dem Wirbelschichtkühler 5 entnommen und teilweise über Leitung 16 abgeführt.

Der für die Rückführung in den Wirbelschichtreaktor 1 bestimmte Feststoffteilstrom wird hingegen seinerseits auf zwei Teilströme aufgeteilt, von denen einer über Leitung 15 dem Wirbelschichtreaktor 1 direkt zugeführt wird. Der zweite Teilstrom gelangt über Leitung 17 in die in den Elektrofilter 3 führende Abgasleitung 18, kühlt dabei unter Bildung einer Suspension das Abgas und wird im Elektrofilter 3 abgeschieden. Der abgeschiedene Feststoff gelangt dann über Leitung 19 in die das Abgas aus dem Zyklonabscheider 9 abführende Rohrleitung 20, in der der Feststoff unter Vorabkühlung des Abgases weitere Wärme aufnimmt. Anschließend wird der Feststoff in einem weiteren Zyklonabscheider 21 abgetrennt und über Falleitung 22 in den Wirbelschichtreaktor 1 eingetragen.

Bei der Arbeitsweise gemäß Figur 2 ist eine Vorwärmung des für den Wirbelschichtreaktor 1 bestimmten Fluidisierungsgases nicht vorgesehen. Außerdem wird der aus dem Wirbelschichtkühler 5 herrührende und über Leitung 8 in den Wirbelschichtreaktor 1 geführte Sekundärgasstrom durch weiteres, nicht vorgewärmtes, über Leitung 23 herangeführtes sauerstoffhaltiges Gas verstärkt.

Figur 3 unterscheidet sich von Figur 2 lediglich dadurch, daß hinter den Elektrofiltern 3 ein Vorwärmer 4 für sauerstoffhaltiges Gas geschaltet ist.

709851/0026

Beispiel 1 (mit Bezug auf Figur 1)

Es wurde Kohleschiefer mit Luft verbrannt. Hierzu diente ein Wirbelschichtreaktor mit einer Grundfläche von 1 x 1 m und 12 m Höhe. Der Reaktor wies keine Kühlfläche auf. Es wurden 7 t/h Kohleschiefer mit einem Heizwert von $H_u = 760 \text{ kcal/kg}$ ($= 3,2 \text{ MJ/kg}$) und einem mittleren Korndurchmesser von 0,2 mm mittels $700 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft von 250°C über Leitung 6 pneumatisch eingetragen. Als Fluidisierungsgas wurden dem Wirbelschichtreaktor $14000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft von 250°C über Leitung 7 zugeführt. Als Sekundärgas dienten $4200 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft, die auf 268°C aufgeheizt und mittels Leitung 8 in den Wirbelschichtreaktor 1 eingebracht worden waren. Die mittlere Suspensionsdichte im Wirbelschichtreaktor 1 unterhalb der Sekundärgaszuführung 8 betrug 200 kg/m^3 , im darüber liegenden Raum 15 kg/m^3 . Die Temperatur im gesamten aus Wirbelschichtreaktor 1, Zyklonabscheider 9 und Leitung 10 gebildeten Zirkulationssystem lag bei 800°C .

17,6 t/h heißer unbrennbarer Feststoff wurden dem Wirbelschichtkühler 5, der vier Kammern und verbundene in die einzelnen Kammern eintauchende Kühlregister 12 mit einer Kühlfläche von 82 m^2 aufwies, über Leitung 11 aufgegeben. Als Fluidisierungsgas dienten $2500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft, die sich auf 280°C aufheizte und dem Wirbelschichtreaktor 1 als Sekundärgas zugeführt wurde. Der gekühlte Feststoff wurde aus dem Wirbelschichtkühler 5 mit 100°C ausgetragen.

Zur Einstellung der Temperatur von 800°C im Zirkulationssystem wurde ein Teilstrom von 11,6 t/h Feststoff in den Wirbelschichtreaktor 1 über Leitung 15 zurückgeführt.

Im Wirbelschichtkühler 5 wurden bei einer mittleren Materialkonzentration von 500 kg/m^3 Wärmedurchgangszahlen von $400 \text{ W/m}^2 \cdot \text{grd}$ erzielt. und $3,5 \cdot 10^6 \text{ W}$ zur Erzeugung von Sattsampf mit 60 bar

über die Kühlflächen 12 abgeführt.

Zur Kühlung des aus dem Zyklonabscheider 9 austretenden Abgases diente ein Abhitzekeesse 2, in dem die Abgastemperatur auf 300°C gesenkt wurde. Mit dieser Temperatur gelangte das Abgas in das Elektrofilter 3 und in den Vorwärmer 4, in dem $6400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft von 50°C auf 250°C unter Abkühlung des Abgases auf 155°C aufgeheizt wurden. Von der aufgeheizten Luft dienten $1700 \text{ Nm}^3/\text{h}$ als weiteres Sekundärgas, $4000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ als Fluidisierungsgas und $700 \text{ Nm}^3/\text{h}$ als Fördergas.

Beispiel 2 (mit Bezug auf Figur 2)

Es wurde Pyrit mit Luft verbrannt. Hierzu diente der Wirbelschichtreaktor bemäÙ Beispiel 1, der jedoch an der Wandung oberhalb der Sekundärgaszuführung mit 20 m^2 Kühlfläche ausgestattet war.

Es wurden $3,1 \text{ t/h}$ Pyrit mit einem Heizwert von $H_u = 1530 \text{ kcal/kg}$ ($= 6,4 \text{ MJ/kg}$) und 47 Gew. \% S mit einem mittleren Korndurchmesser von $0,08 \text{ mm}$ mittels $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft $0,2 \text{ m}$ über dem Rost über Leitung 6 pneumatisch eingetragen. Für den Wirbelschichtreaktor 1 dienten $2500 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft als Fluidisierungsgas, das über Leitung 7 eingetragen wurde, und $4400 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft als Sekundärgas, das über Leitung 8 zugeführt wurde. Die mittlere Suspensionsdichte unterhalb der Sekundärgaszuführung betrug 150 kg/m^3 , im darüber liegenden Raum 20 kg/m^3 .

Stündlich wurden über Leitung 11 $17,2 \text{ t}$ Abbrand (im wesentlichen Fe_2O_3) ausgetragen und im Wirbelschichtkühler 5, der vier Kammern und durchlaufende, in die einzelnen Kammern eintauchende Kühlregister 12 mit 68 m^2 Kühlfläche aufwies, gekühlt. Zur Fluidisierung des Wirbelgutes dienten $1700 \text{ Nm}^3/\text{h}$ Luft. Diese Luft erhitze sich auf 300°C und wurde dem Wirbelschichtreaktor 1 über Leitung 8 als Sekundärgas

zugeleitet. Die Abbrandtemperatur nach Austrag über das Austragsorgan 14 lag bei 100 °C.

Vom ausgetragenen Abbrand wurden 2,5 t/h über Leitung 15 direkt in den Wirbelschichtreaktor 1 eingetragen. Ein weiterer Teilstrom von 12,5 t/h wurde über Leitung 17 in die Gasleitung 18 eingetragen. Dadurch wurde das Abgas auf die im Hinblick auf den Säuretaupunkt zulässige Temperatur von 350 °C gekühlt. Der Feststoff gelangte nach Abscheidung im Elektrofilter 3 über Leitung 19 in die Gasleitung 20 und nach erneuter Abscheidung im Zyklonabscheider 21 über Falleitung 22 schließlich in den Wirbelschichtreaktor 1. Durch die Rückführung des Feststoffes wurde im Zirkulationssystem bestehend aus Wirbelschichtreaktor 1, Zyklonabscheider 9 und Rückführleitung 10 eine Temperatur von 900 °C erhalten.

Über Leitung 16 wurden stündlich 2,2 t Überschußabbrand ausgetragen. Sein Restschwefelgehalt lag bei 0,5 Gew.% S.

Im Wirbelschichtkühler 5 herrschte eine Suspensionsdichte von 500 kg/m³. Bei einer Wärmeübergangszahl von 400 W/m² · grd wurden $3,4 \cdot 10^6$ W Energie unter Erzeugung von Sattdampf mit 60 bar abgeführt.

In den Kühlflächen des Wirbelschichtreaktors 1 wurde Sattdampf von ebenfalls 60 bar entsprechend einer stündlichen Wärmemenge von $1,2 \cdot 10^6$ W bei einer Wärmeübergangszahl von 90 W/m² · grd produziert. Von der insgesamt durch Abröstung des Pyrits stündlich erzeugten Wärmemenge von $5,6 \cdot 10^6$ W wurden mithin $4,6 \cdot 10^6$ W zur Erzeugung von Sattdampf ausgenutzt.

Beispiel 3 (mit Bezug auf Figur 3)

Es wurden Öl und Luft verbrannt. Hierzu diente ein Wirbelschichtreaktor gemäß Beispiel 1. Als Wirbelgut wurde Kalkstein mit einem mittleren Korndurchmesser von 0,1 bis 0,2 mm benutzt.

Über die Lanze 6 wurde 0,73 t/h Heizöl mit einem Heizwert von 9800 kcal/kg (= 41 MJ/kg) und einem Gehalt von 3,4 Gew.% S eingetragen. Als Fluidisierungsgas dienten 3700 Nm³/h Luft mit 165 °C und als Sekundärgas 4800 Nm³/h Luft mit 220 °C. Die mittlere Suspensionsdichte im Wirbelschichtreaktor 1, im unterhalb der Sekundärgaszuführung 8 befindlichen Reaktorraum betrug 150 kg/m³, im darüber liegenden Raum 15 kg/m³. Die Temperatur im gesamten aus Wirbelschichtreaktor 1, Zyklonabscheider 9 und Leitung 10 gebildeten Zirkulationssystem lag bei 850 °C.

37,9 t/h Wirbelgut wurden über Leitung 11 entnommen und dem Wirbelschichtkühler 5, der vier Kammern und durchlaufende, in die Kühlkammern eintauchende Kühlregister 12 mit einer Kühlfläche von 159 m² besaß, eingetragen. Unter Abführung von Wärme entsprechend $8 \cdot 10^6$ W wurde Sattdampf mit 60 bar erzeugt und das Wirbelgut auf 100 °C abgekühlt. Bei einer Fluidisierungsgasmenge von 2300 Nm³/h betrugen die Suspensionsdichte im Wirbelschichtkühler 5 500 kg/m³ und die Wärmeübergangszahl 400 W/m² · grd.

Zur Einstellung der Temperatur im Zirkulationssystem wurden 11,9 t/h aus dem Wirbelschichtkühler 5 ausgetragener Feststoff dem Wirbelschichtreaktor 1 über Leitung 15 zugeführt. 26 t/h gekühlter Feststoff dienten zur Kühlung des Abgases. Diese Feststoffmenge wurde zusammen mit 68 kg/h gebrannten Kalkes über Leitung 17 der Gasleitung 18 aufgegeben. Dadurch wurden die Abgase auf 200 °C gekühlt

und der Feststoff entsprechend aufgeheizt. Feststoff und Abgas wurden in einem Elektrofilter 3 mit Vorabscheider getrennt, der Feststoff über Leitung 19 der Gasleitung 20 zugeführt, wo er durch die Abgase des Reaktors auf 410°C vorgewärmt wurde. Nach der Trennung von Feststoff und Gas in einem Zyklonabscheider 21 wurde der Feststoff dem Wirbelschichtreaktor 1 über Leitung 22 zugeleitet.

Das aus dem Elektrofilter 3 austretende Abgas von 200°C wurde im nachgeschalteten Vorwärmer 4 unter Aufheizung von Luft auf 165°C auf 120°C abgekühlt. Der Schwefelgehalt im Abgas entsprach einem Entschwefelungsgrad von 90%.

- 24 -

Leerseite

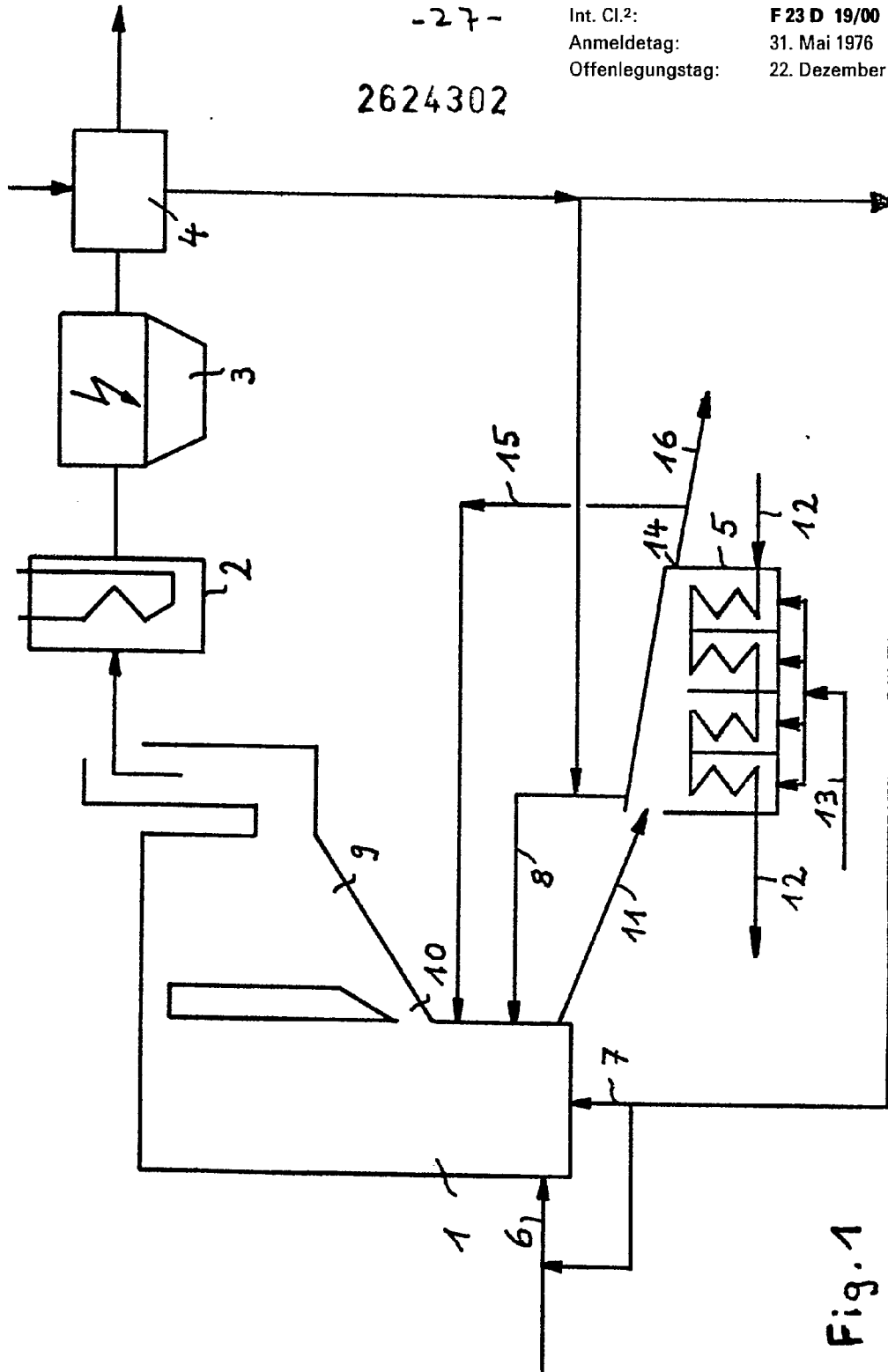


Fig. 1

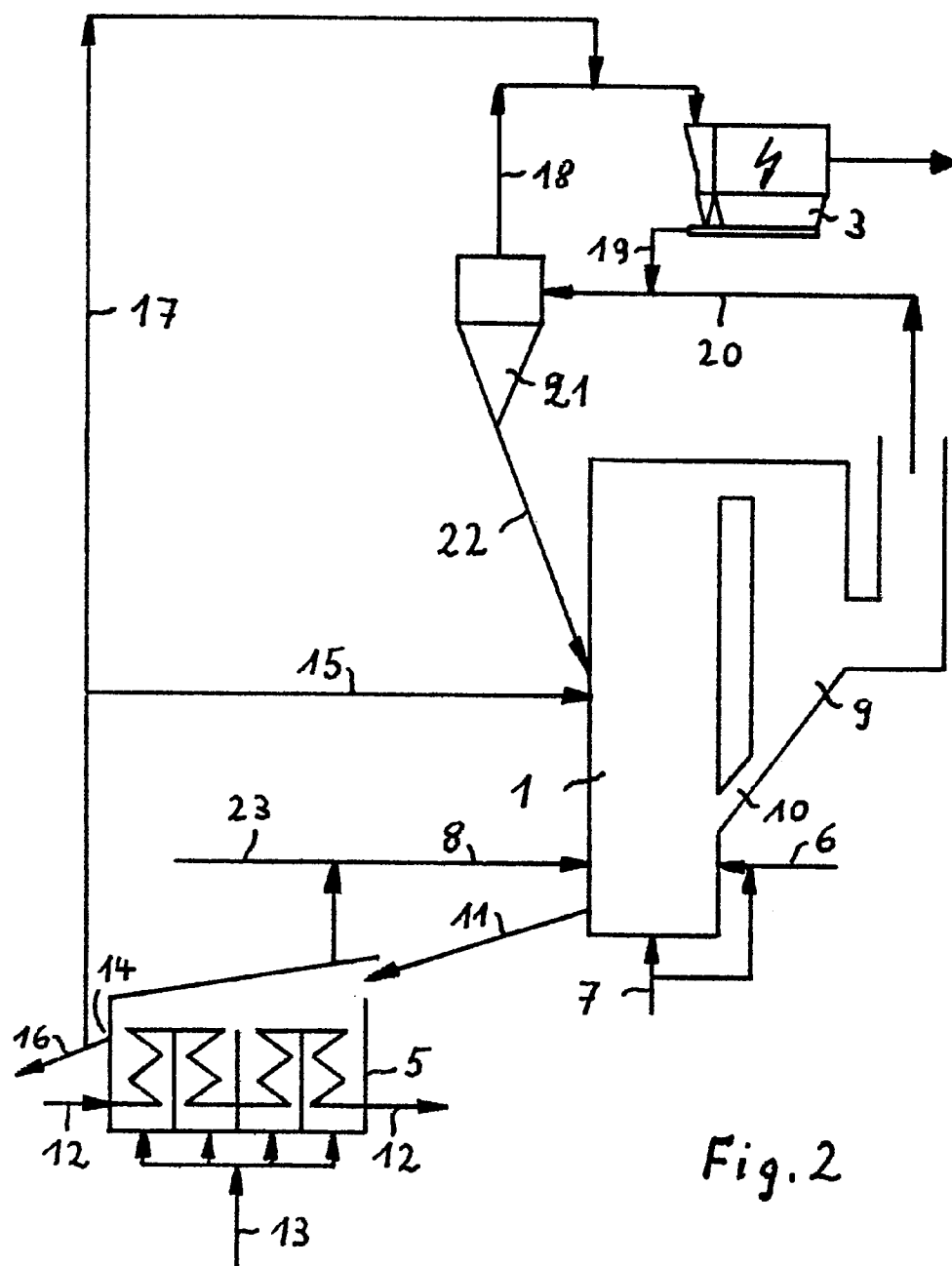


Fig. 2

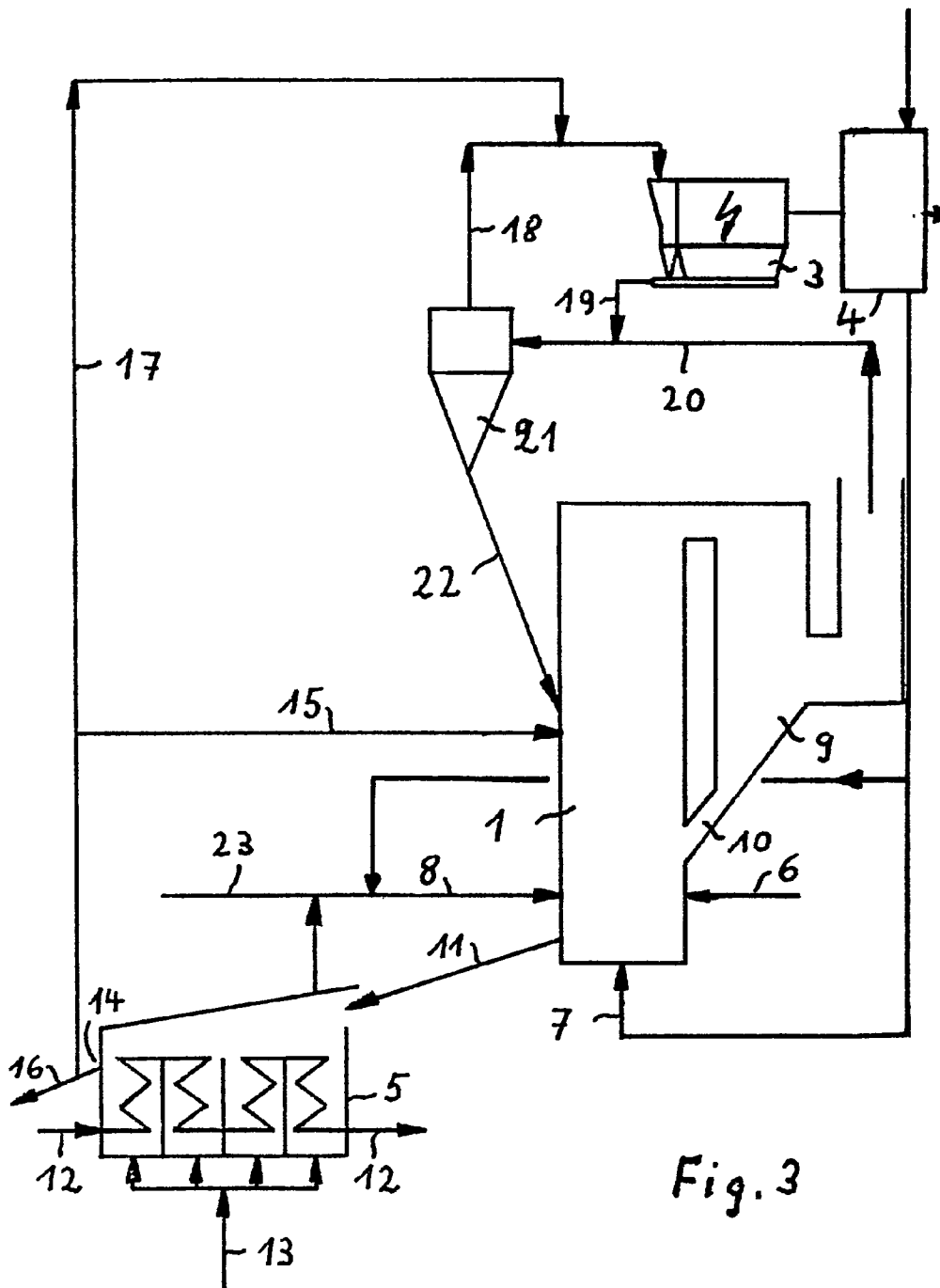


Fig. 3